

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОТРИВКОСТІ ПЕРСПЕКТИВНИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ГАЛУЗІ, А ТАКОЖ РОЗПІЗНАВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЇХ ПРОДУКТІВ ЗНОШУВАННЯ

В роботі в стислій формі наведені деякі власні дослідження стосовно зносостійкості перспективних сталей, що можуть знаходити застосування в автомобільній галузі.

В даній роботі продовжено розвиток наукового напрямку пов'язаного з вивченням фізико-механічних властивостей сплавів та їх впливом на формування експлуатаційних характеристик деталей [1 - 12]. Мета роботи полягає в наведенні та узагальненні результатів власних досліджень зносостійкості високоазотних сталей, а також систематизації інформації стосовно використання параметрів продуктів зношування в якості ідентифікаторів прогнозування працездатності машин та механізмів.

Деталі транспортних засобів під час роботи і при зберіганні знаходяться під впливом різних фізичних і хімічних процесів, в результаті чого відбувається їх знос.

При правильній експлуатації машини наростання зносу відбувається поступово, при неправильній - швидко, навіть якщо вона працює нетривалий час. Такий знос називається **аварійним**.

Знос пов'язаних один з одним деталей наростає насамперед в залежності від часу роботи машини і може бути розділений на 3 періоди:

- перший період - процес підробітки (припрацювання) сполучених деталей;
- другий - процес нормальної роботи; наростання зносу тут йде повільно і рівномірно;
- третій - прискорене наростання зносу і руйнування сполучення (аварійний знос) [13].

Природний знос класифікується на механічний, абразивний, корозійний, пластичний, втомний і тепловий. При цьому перші три види зносів характерні для сполучень з поверхнями, що труться, інші - як для сполучень, що труться, так і з тими поверхнями, що не зазнають тертя.

Швидкість зношування деталей залежить від багатьох факторів, які можна поділити на такі три групи: конструктивні, технологічні, експлуатаційні.

Конструктивні фактори, такі, як форма, розміри, зазори і посадки сполучених деталей; матеріали, які плануються для їх виготовлення; умови, що забезпечують легкість доступу до з'єднань при обслуговуванні та ремонті враховуються в процесі конструювання машин. Правильність їх вибору значно впливає на надійність і довговічність машин.

Технологічні фактори пов'язані з процесами виготовлення деталей. До них відносяться: якість матеріалу, застосованого для виготовлення деталей, механічна і термічна обробка деталей.

Експлуатаційними чинниками є: режим роботи машини, кліматичні умови в зоні її експлуатації, якість застосовуваних мастильних матеріалів, своєчасність і якість технічного обслуговування і ремонту [14].

Від зношування деталей автомобіля залежить безпека та життя людей, тому питання про підвищення та забезпечення зносостійкості вузлів транспортних засобів є актуальною сьогоденною задачею.

Одними з діагностичних методів для прогнозування працездатності машин та механізмів є ідентифікація частинок зношування.

Частинки зношування можуть належати до різних сплавів, мати різні розміри, мікрорельєф та фрактографію. Вони можуть утворюватися при різних умовах тертя (наприклад, сухе або рідинне), а також додаватись до продуктів корозії, мастил, технологічних середовищ або продуктів згорання палива.

Проведені власні експериментальні дослідження [1, 5, 6, 8, 9] дозволили встановити закономірності при зношуванні досліджуваних сталей в умовах сухого та граничного тертя. Наведемо, деякі приклади.

Підбір матеріалів для проведення експериментів. Нові можливості відкриваються при використанні високолегованих хромомарганцевих сталей, які завдяки підвищеним фізико-механічним властивостям ($\sigma_b = 1000 \dots 1300$ МПа, $\sigma_T = 400 \dots 1000$ МПа, $K_{IC} = 600$ МПа \sqrt{m}) знаходять широке використання в атомній енергетиці, медицині, будівництві, у морській техніці, залізниці, де вони використовуються як триботехнічні матеріали [5, 6, 8]. Високоазотні сталі, у порівнянні з вуглецевими сталями мають менший коефіцієнт тертя.

Хімічний склад досліджуваних сталей наведено в таблиці 1.

Сплав № 1, то є високоазотна сталь. Сплав № 2 є сталь № 45. Хімічний склад сталі 45 регламентується згідно ГОСТ 1050-88.

Таблиця 1 – Хімічний склад досліджуваних сталей

Марка	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	N
Сплав № 1	0,06	0,52	19,4	17,5	0,13	2,08	0,14	0,97
Сплав № 2*	0,42 - 0,5	0,17 - 0,37	0,5 - 0,8	До 0,25	До 0,25	–	–	–

- *S до 0,04%, P до 0,035, C до 0,25, Cu до 0,25, As до 0,08.

Для сталі 45 є замітники сталі: 40X, 50, 50Г2. Клас сталі: сталь конструкційна вуглецева якісна. Сталь 45 використовують в промисловості для виготовлення: валів-шестерен, колінчатих і розподільних валів, шестерень, шпинделів, бандажів, циліндрів, кулачків і інших нормалізованих, покращуваних, що піддаються поверхневій термообробці деталей, від яких потрібна підвищена міцність, тобто цю сталь можна застосовувати для вузлів тертя автомобілів.

У досліджуваній сталі в мікроструктурі сплавів зафіксовано аустенітну металеву матрицю, мікротвердістю 4,2...5,0 GPa.

Виготовлення високо азотних сталей здійснюються з електродів виплавлених в дуговій печі, які для поліпшення чистоти переплавляються на установці електрошлакового переплаву або в установці електрошлакового переплаву під тиском. Після обточки заготовок зразки підвергають дифузійному відпалу, а далі холодному зміцненню. Далі відбувається відпал для зняття напруг та чистова обробка. Холодна пластична деформація для даних зразків може здійснюватися до 60%.

Металографічні та інші види досліджень. Металографічні дослідження (в.ч. продуктів зношування) проводились на мікроскопі Neophot 2, з підключенням ноутбука, та цифрового фотоапарату Canon EOS 30D. Поверхні тертя знімалась на електронному мікроскопі EVO-40XVP із системою мікроаналізу INCA Energy 350. За допомогою мікроскопу Neophot 2 вдалося встановити мікротвердість поверхневого шару. Рентгеноструктурний аналіз проводили на установці ДРОН 2.

Для експертизи використовувалось обладнання “Центру електронної мікроскопії та рентгенівського мікроаналізу” НАН України.

Методика проведення експериментів на машинах тертя. Дослідження зносостійкості матеріалів проводились на машинах тертя СМЦ-2 та СМТ-1 (2070) [15-19].

Машина тертя СМЦ-2, будучи модифікацією машини тертя Амслера, призначена для випробування матеріалів на знос і визначення їх фрикційних властивостей в умовах тертя ковзання і тертя кочення при нормальних температурах для модельних трибосистем, схема яких представлена на рис. 1, диск-колодка (а), диск-диск (б) та ще може бути втулка - вал.

Пару тертя диск-диск використовують для моделювання роботи трибоспрямижень з лінійним контактом елементів, таких як колесо рейок (наприклад кранові ходові колеса, що переміщуються по рейці) або зубчасте зачеплення. При взаємному обкатуванні взаємодіючих дисків з деяким прослизанням в зоні їх контакту виникають умови навантаження матеріалу, відповідні навантаженню матеріалу зубчастого колеса в будь-якій точці лінії контакту (зачеплення).

Пара тертя диск-колодка використовується для моделювання роботи трибоспрямижень

сухого і граничного тертя (гальмівні колодки та ін.). При використанні модельної трибосистеми втулка-вал можливо дослідження гідродинамічної опори тертя.

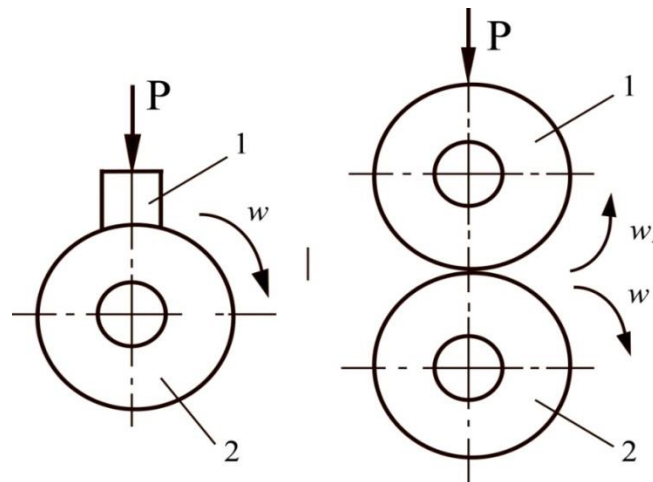


Рисунок 1 – Модельні трибосистеми, що реалізуються на машинах тертя СМЦ-2 та СМТ-1 (2070). Позначення: 1 – зразок, 2 – контртіло (а – диск-колодка; б – диск-диск)

Трибометр укомплектований пристроями для тарировки його силових систем, а також для проведення випробувань елементів модельних трибосистем диск - диск і диск - колодка в рідких середовищах передбачено використання спеціальних камер.

Кінематична схема машини тертя представлена на рис. 2. Привід обертання зразка 8 і контртіла 9 здійснюється від електродвигуна 1 за допомогою клинопасової передачі 2 і шестерень 3. Клиноременева передача зі змінними шківками, дозволяє проводити випробування при малих навантаженнях на зразок. В каретці 5, повертається навколо осі валу 4, розташовані змінні шестерні 6, що працюють в масляній ванні, для приводу зразка 8. Передаточне відношення цих шестерень визначає ступінь ковзання зразка і контртіла при випробуваннях на тертя кочення з проковзуванням.

Таблиця 2 – Технічні дані машини тертя СМЦ-2

Технічні характеристики	Показники
Частота обертання валу контртіла, об/хв	300, 500, 1000
Коефіцієнт проковзування круглих зразків з однаковими діаметрами, %	0,10,15,20
Максимальний момент тертя, Н·м	15
Діапазон зміни моменту тертя, Н·м	1,5 ... 15
Діапазон вимірювання навантаження, Н	
Диск-диск; диск-колодка	200-2000
Вал-втулка	500-5000
Потужність, кВА	2,2
Межа похибки коефіцієнта прослизання	± 5%
Межа похибки числа обертів контртіла від вимірюваної величини	± 10%

Для проведення досліджень працездатності гідросистеми в рідких середовищах трибометр оснащений спеціальною камерою. Також з власного досвіду можна додати, що спеціальну камеру можна замінювати на різні прилаштування.

Момент тертя вимірюється безконтактним індуктивним датчиком 10 по скручуванню торсіонного валу 11, на якому закріплено контртіло 9. Реєстрацію моменту тертя виробляють потенціометром типу КСП-2.

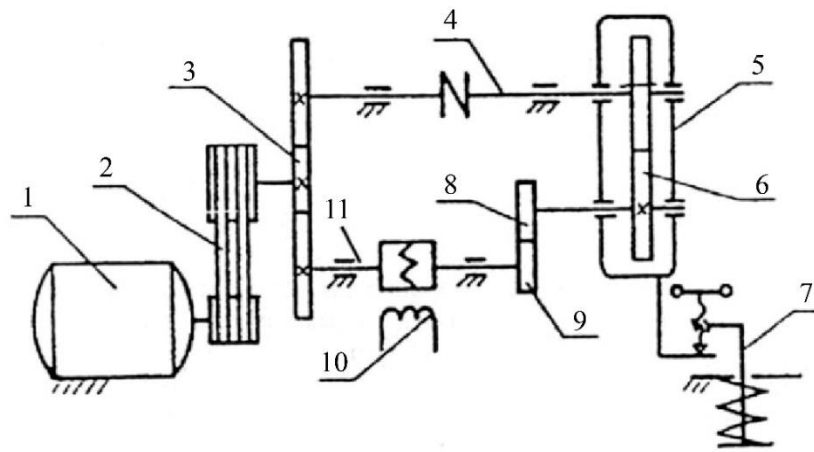


Рисунок 2 – Кінематична схема машини тертя СМЦ-2

(1 – електродвигун, 2 – клиноремінна передача зі змінними шківками, 3 – шестерні приводу зразка і контртіла, 4 – промі-жний вал, 5 – каретка, 6 – змінні шестерні приводу зразка, 7 – навантажуючий пристрій, 8 - зразок, 9 – контртіло, 10 – індукційний датчик моменту тертя, 11 – торсіон)

Каретка консольно кріпиться в бабі нижнього зразка. Каретка може бути знята з машини для установки і роботи з камерою для зразків "Вал-втулка".

Щоб виключити навантаження на зразки від неврівноважених мас консольно закріпленої каретки на машині є противага, яка розміщується всередині станини машини.

Для вимірювання крутного моменту на машині використовують безконтактний індуктивний датчик, що складається з двох частин: обертового ротора и нерухомого статора. Основною частиною ротора є торсіон. Під час випробувань виникає момент тертя, який скручує вал нижньої балки. Другий кінець вала з'єднаний з торсіоном датчика, який сприймає цей же момент. Під його дією торсіон скручується, а крайні кільця ротора зміщуються відносно середнього кільця в різні боки на рівні кути. При цьому змінюється магнітний потік, отже відбувається зміна ЕРС. Електричні сигнали подають на потенціометр.

Враховуючі можливості машин тертя, визначимо які деталі автомобілів, можуть експлуатуватись в умовах близьких до проведення експериментів. Це деталі (у склад яких входять підшипники ковзання): стартера, трамблера, генератора, кривошипно - шатунного механізму, газорозподільного механізму.

До найбільш відповідальних вузлів тертя ходової частини автомобілів, які треба змащувати, відносяться підшипники, ступиці коліс, шарніри рульового управління, карданні шарніри рівних кутових швидкостей.

Вузли, що зазнають тертя: підшипники кочення і ковзання, шарніри, опори, різьбові з'єднаннях, зубчасті та інші передачі.

Дослідження в умовах сухого тертя мають велике прикладне значення по-перше: отриманні результати можна порівнювати з інтенсивністю зношування інших сплавів в аналогічних умовах (так як при сухому терті інтенсивність зношування вища ніж при граничному); по-друге: дослідити інтенсивність руйнування з позицій механіки руйнування порівнюючи морфологію продуктів зношування, так як руйнуванню сплавів цих сплавів не перешкоджають ніякі змащувальні речовини; по-третє: сухе тертя можна розглядати як граничний випадок тертя в умовах змащування, коли зник змащувальний матеріал з трибоз'єднання і пара тертя вже давно працює в таких умовах.

Досліджували триботехнічні можливості високо азотних сталей в умовах сухого тертя (ролик по ролику). Зносотривкість вивчали на машині тертя СМТ – 1 (2070). Швидкість ковзання нижнього ролика становила 1480 обертів за хвилину, а верхнього 1240 (проковзування складало 15%). Нижній ролик (діаметр 42 мм) виготовлений зі сталі 45 (HRC = 60 од.). Верхній ролик виготовляли з високоазотної сталі сплав №1 твердість 45...50 HRC (хімічний склад наведено в табл. 1). Лінійна швидкість верхнього ролика складала 2,27 м/с, а нижнього 3,08 м/с. В умовах сухого тертя навантаження складало 25, 40, 50, 60 кг.

Перед дослідженням сплавів робили їх припрацювання, навантаження змінювали від меншого до більшого. Подальше припрацювання сплавів сприяло зменшенню інтенсивності зношування сплавів навіть при збільшенні навантаження від 40 кг до 50 кг (рис. 3). При навантаженні 40 кг схоплювання сплавів не спостерігали їх тертя відбувалось у стабільному режимі без значних коливань коефіцієнта тертя.

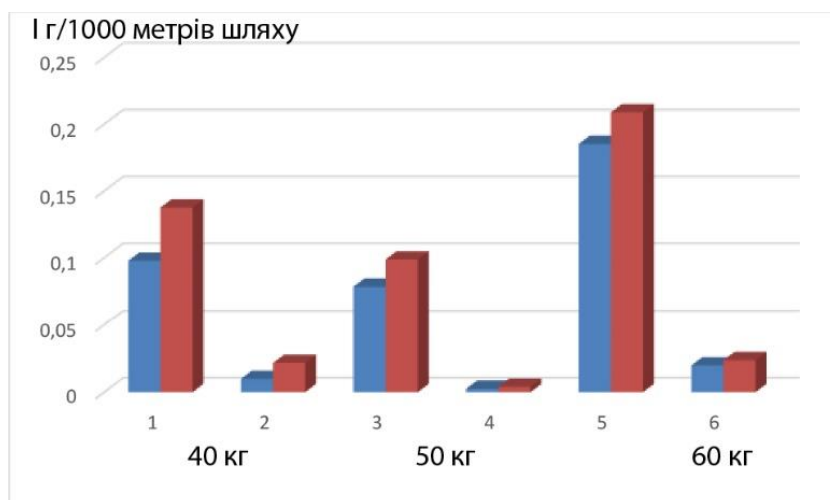


Рисунок 3 – Експериментальні результати досліджень в умовах сухого тертя (номери стовпчиків 1, 3, 5 - сталь 45; 2, 4, 6 - хромомарганцева сталь)

Відомо, що Мо стверджує твердий розчин (металеву матрицю), та входить до складу карбідів а Ні навпаки сприяє підвищенню в'язкості та пластичності сплавів [3, 4], що може суттєво впливати на триботехнічні властивості. В умовах тертя суттєвий вплив відіграють процеси, що відбуваються в при поверхневих шарах сплавів. Зокрема, здатність сплавів зміцнюватись (збільшувати твердість при поверхневих шарів) при навантаженні та чинити опір зношуванню [20]. Зміна властивостей аустеніту при легуванні може бути описана теоріями зміцнення твердих розчинів. Для елементів впровадження (С, N) та заміщення (Mn, V, Co, Mo, W, Al, Cr, Ni, Si) ефективність зміцнення при однакових значеннях Δa різна (Δa – параметр кристалової ґратки). Найбільший вклад у зміцнення аустеніту вносять елементи впровадження, особливо азот. На відміну від α – заліза розчинність азоту в легованому аустеніті значно вище і може перевищувати 1 % при кімнатній температурі [21]. Сплав № 1 містить більшу кількість азоту. Хромомарганцевий аустеніт армується карбідами та нітридами. В сплаві № 1 виявили нітриди хрому, які розташовані переважно по границях зерен. Як відомо нітриди хрому ((у системі нітрида хрому існують дві нітридні фази - Cr_2N (гексагональна структура) і CrN (B1 - NaCl структура [22])) можуть мати високу твердість до 25 GPa, що значно перевищує твердість металевої матриці. А від так реалізується принцип Шарпі, коли в металевій матриці, розташовані тверді включення, що сприяє підвищеній зносотривкості. Нітриди хрому можуть армувати металеву аустенітну матрицю, що буде сприяти міцністним характеристикам. Але вони, також зменшують вміст хрому в твердому розчині, що ймовірно буде зменшувати вміст хрому в пасивуючий плівці на поверхні.

Для марганцевого та нікелевого аустеніту при деформації $\varepsilon = 50\%$ підвищується твердість нікелевого аустеніту в 1,5 рази, а марганцевого в 2,6. Що обумовлено тим, що в марганцевім аустеніті значення енергії дефектів упаковки значно менше, ніж в нікелевім аустеніті. Рухливість дислокацій (здатність їх к поперечному ковзанню, легкість перетинів) залежить від енергії дефекту упаковки (цей фактор відіграє у зміцненні сплавів більшу роль, ніж взаємодія дислокацій з атомами впровадження та заміщення, а також силі тертя кристалової ґратки). Під впливом Mn відбувається перерозподіл зовнішніх електронів від атомів заліза до атомів марганцю, внаслідок чого d – електрони атомів заліза приймають більшу участь у зв'язках. Зміна характеру просторового розподілу електронів є основним фактором у визначенні властивостей залізо марганцевих сплавів [22 – 25].

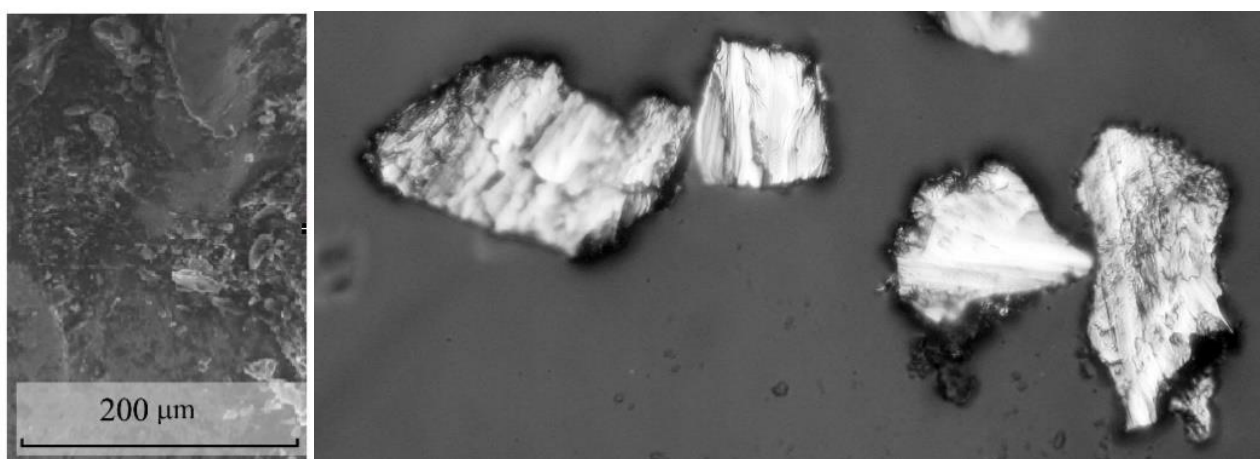
Таким чином, змінюючи вміст легуючих елементів можна значно впливати на характер руйнування цих сплавів в умовах тертя.

Досліджуванні сплави є нержавіючими сталями, на поверхні яких міститься «пасивуюча» оксидна плівка з підвищеним вмістом хрому. Ця плівка має товщину 1 – 5 нанометрів, вона суцільна та хімічно стабільна навіть при умовах, коли поверхневі шари абсорбували значну кількість кисню. Крім того, коли на поверхні кількість кисню достатня, то захисний оксидний шар може самовідновлюватись. Тобто якщо на поверхні сталі є дряпини або вибоїни, то в результаті взаємодії атмосферного кисню та хрому захисний шар самовідновлюється [25].

Цю особливість дуже широко застосовують в автомобілебудуванні, коли виготовляють декоративні деталі з нержавіючої сталі, тобто захисна плівка залишається на деталях не пошкодженою.

Змашувальні матеріали значно зменшують зношування деталей найчастіше за малих деформаціях, коли в згідно з ефектом Ребіндера, вони окислюють та пластифікують метал. При цьому окисні плівки попереджують поверхню від схоплювання, особливо коли їх твердість нижча твердості основного металу і вони можуть деформуватись не руйнують [26]. За допомогою локального рентгеноструктурного аналізу, виконаного методами електронної мікроскопії встановили, що на поверхні тертя є кисень (рис. 4), який входить до складу пасивуючих плівок, які гальмують на деяких етапах інтенсивне зношування поверхневих шарів. Вміст кисню становив (10% за вагою, та 26 % атом.), хрому 17,54% та 14,37% відповідно. Пасивуюча плівка (пасивуючий шар) складається з оксиду хрому. Товщина цього шару знаходиться в межах 20 - 30 ангстрема. Міцність захисного шару збільшується із збільшенням вмісту хрому [27]. Аналіз зроблено з поверхні, яка не зазнала значних пошкоджень під час тертя, тобто маємо гладку поверхню (наведено білим квадратиком), інша площа на знімку зазнала значних пошкоджень в умовах тертя. Таким чином, на поверхні ролика знаходяться плівки що містять кисень та хром.

На поверхні де є «гладкий» мікрорельєф рис. 4. (де проведено локальний аналіз (рис. 5.) міститься значна кількість азоту, який може знаходитись як у твердому розчині, так і у складі нітридів. Також є зруйновані ділянки, з якої відокремлювався матеріал в умовах схоплювання, але на ній вмісту азоту не зафіксовано, натомість за даними локального аналізу, там міститься велика концентрація молібдену. Ймовірно, тут розташований карбід молібдену. Що може служити доказом того, що руйнування сплаву в умовах інтенсивного схоплювання відбувається в крихких карбідах.



а)

б)

Рисунок 4 – Поверхня тертя сплаву № 1 після процесів інтенсивного теплового схоплювання. Білим кольором наведено місце, де був проведений локальний аналіз а. Фотографії продуктів зношування викришених під час інтенсивного схоплювання б

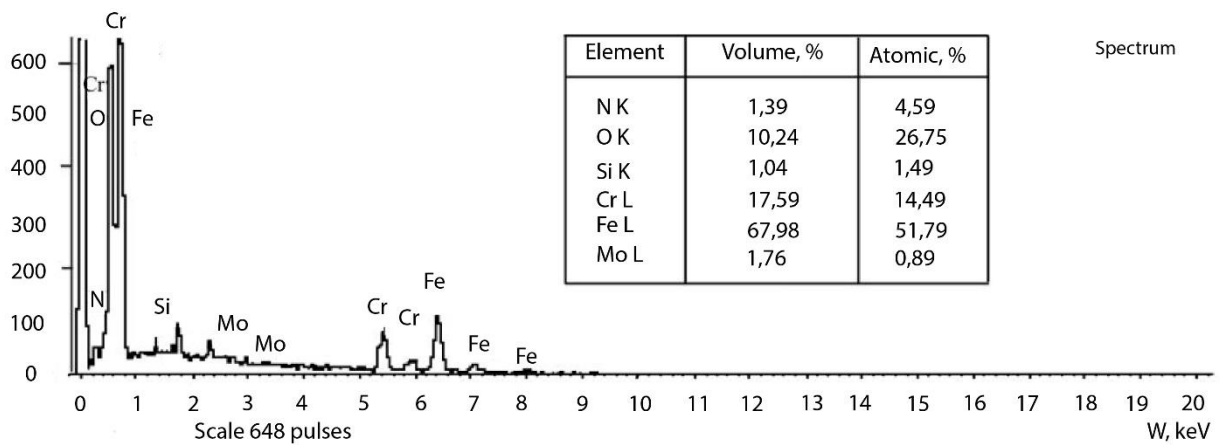


Рисунок 5 – Спектри (з дисперсією по енергії) характеристичного рентгенівського випромінювання (ЕДХ) елементів, збуджені електронним зондом із поверхні тертя зразків сталі

На рис. 6 та 7 надані фотографії на яких можна роздивитись поверхню ролика після тертя. З рис. 6, 7 бачимо, що поверхня має різні пошкодження викликані тепловим схопленням, аналіз дифрактограм дозволив встановити, де саме відбувалось руйнування. На рис. 7 бачимо, що є не зруйновані ділянки, де руйнування не відбувалось так інтенсивно.

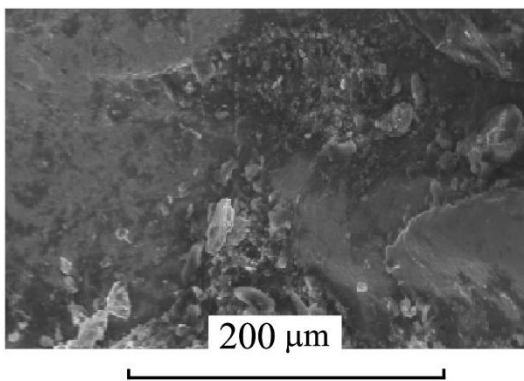


Рисунок 6 – Поверхня тертя сплаву № 1 після процесів інтенсивного теплового схоплювання

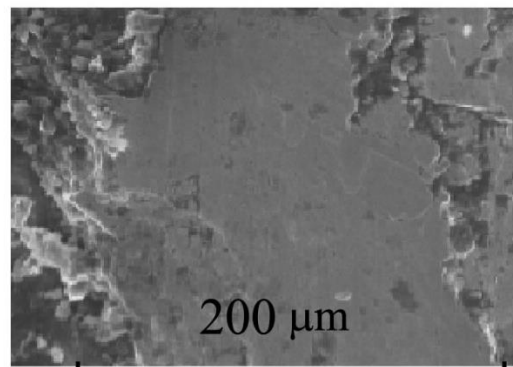


Рисунок 7 – Поверхня тертя сплаву № 1 після процесів тертя

На рис. 7 наведено фото продуктів зношування, які утворились в умовах схоплювання. Для частинок I, IV, VI, судячи з мікрорельєфу, характерний крихкий характер руйнування. На поверхні частинок практично немає «гладких» ділянок поверхні, а притаманний ступінчастий мікрорельєф. Особливо добре це видно на частинці III (показано стрілочкою та позначено цифрою 2). Але поверхня частинки V має більш гладку поверхню (стрілочка та цифра 4). Стрілочкою 3 відзначено, що ця поверхня має рівну сторону, можливо це свідчить про особливості руйнування. Розміри наведених частинок від 30...95 мкм.

Серед надважливих властивостей пасивуючої плівки є відсутність фазових перетворень, які можуть бути причиною утворення мікроскопічних тріщин, руйнівних захисну плівку [26]. Ще дуже важливо, для сплавів які працюють в умовах тертя, так як змащувальні матеріали значно зменшують зношування деталей найчастіше при малих деформаціях, коли, у відповідності з ефектом Ребиндера, вони окисляють та пластифікують метал, але на стадії припрацювання інколи сприяють розвитку мікротріщин [26].

Підвищену зносотривкість сплаву № 1, можна пояснити присутністю нітридів хрому. Сплави ,які містять нанокристалеві покриття на основі хрому мають низький коефіцієнт тертя та менше зношування [27].

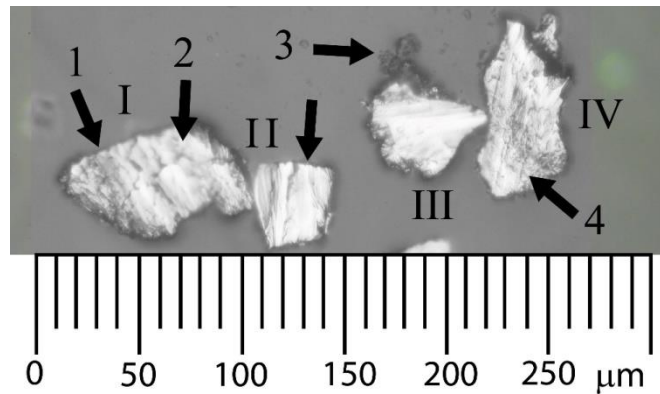


Рисунок 8 – Фотографії продуктів зношування викришених під час інтенсивного схоплювання (римськими числами позначено номери частинок)

Таким чином, зниження інтенсивності зношування при підвищенні навантаження може бути обумовлено кількома комплексними факторами: припрацьваністю цих сплавів, структурною адаптуемістю; зміцнюванням поверхні тертя; виникненням нових кисневих плівок, які «залікують» відкриті поверхні тертя з яких відокремились частинки зношування.

Також є данні, що сплави, які містять хромові плівки краще утримують мастило, а отже застосування таких сталей, для виготовлення автомобільних деталей, що будуть працювати в умовах змащування є перспективним напрямком.

Подальша ідентифікація частинок зношування може відбуватись за допомогою методів комп'ютерного зору. Одна з концепцій таких досліджень описана у роботі [28]. Огляд класифікацій частинок зношування (також наведено власні узагальнення отриманих результатів) наведено у роботі [29]. Автором даної роботи у співавторстві отримано патент «Спосіб визначення форми поверхні частинок після сухого та водневого зношування системою комп'ютерного зору» [30].

По виду частинок, формі і співвідношенні розмірів, визначають такі види зносу [31]:

1) Нормальне зношування. Частинки, які утворюються при ковзанні і мають форму плоских пластин. Розміри частинок 0,5 ... 15 мкм і менше, товщина частинок 0,15 ... 1 мкм. Ставлення великого розміру часток до їх товщині коливається від 10: 1 для більш великих часток, до 3: 1 для частинок близько 0,5 мкм. Мікрофотографії частинок зносу при нормальному зношуванні наведені на рис. 9

2) Втомне викришування. Частинки втомного викришування мають форму плоских хлопьевидних пластин з гладкою поверхнею і хаотичну, безладної форми периферію. Розміри частинок 10 ... 100 мкм і більше, ставлення великого розміру до їх товщини 10: 1. При даному виді зносу зустрічаються як феромагнітні, так і не феромагнітні частинки. Мікрофотографії частинок зносу при втомному викрашуванні наведені на рис. 10.

3) Мікрорізання. Частинки зношування мікронеровностей - у вигляді стружки довжиною 25 ... 100 мкм і товщиною 2 ... 5 мкм. Частинки абразивного зношування у вигляді шматочків зволікань довжиною від 5 мкм і товщиною 0,25 мкм. Мікрофотографії частинок зносу при мікрорізанні наведені на рис. 11.



Рисунок 9 – Нормальне зношування [31]

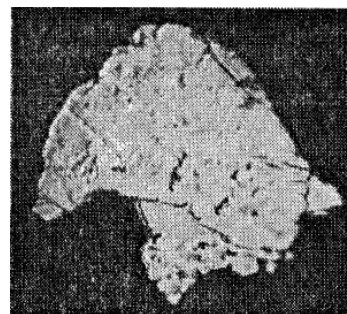


Рисунок 10 – Втомне вищерблення [31]

4) **Задир.** Частинки, які утворюються при посиленому прослизанні однієї деталі щодо іншої з борозенками на поверхні і виступаючими прямими краями. Розміри частинок від 15 мкм, ставлення основного розміру до товщини частинок становить 10: 1. Мікрофотографії частинок зношування при задири наведені на рис. 12.



Рисунок 11 – Мікрорізання [31]

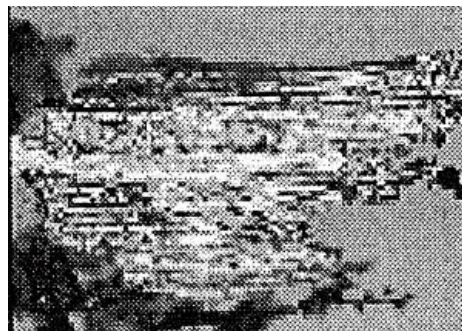


Рисунок 12 – Задир [31]

При утворенні втомних мікротріщин в підшипниках кочення помітного збільшення вмісту металів не відбувається, проте виникає після достатнього їх розвитку піттингу призводить до поломки. Втомні тріщини виявляються на зубах шестерень, які не викликають якогось помітного підвищення вмісту металів в маслі до тих пір, поки зуб не зламається.

Поява в маслі сферичних частинок може служити діагностичною ознакою утворення втомних мікротріщин не тільки в підшипниках кочення, але і в зубчастих зачепленнях. При цьому сферичні частинки, характерні для утворення втомних мікротріщин в зубчастих зачепленнях мають розміри до 20 мкм (для підшипників кочення характерний розмір сферичних частинок 3...5 мкм).

Зараз продовжується систематизація інформації стосовно продуктів різання, наприклад, в США випущено в електронному виді «Атлас продуктів зношування» (Wear Severity Classification) [32]. Згідно якому можна проводити класифікацію продуктів зношування та здійснювати діагностику вузлів машин та механізмів.

Отримана інформація може використовуватись, наприклад, для двигунів внутрішнього згорання [33]. Але цей напрям, ще потребує подальших досліджень та розробок з метою впровадження.

Висновки. Наведені данні по інтенсивності руйнування хромо марганцевих сталей в умовах сухого тертя кочення з проковзуванням при навантаженні 40, 50, 60 кг. В умовах тертя спостерігали зменшення інтенсивності зношування при збільшенні навантаження, що може бути проявлено припрацьованістю сплавів під час тертя. Також важливим фактором стримуючим данні сплави від інтенсивного зношування є присутність пасивуючої плівки, яка може відновлюватись в умовах тертя за рахунок присутності кисню. На поверхні тертя в зонах «виривів», спостерігається підвищений вміст карбідоутворюючих елементів, що визначає те, що руйнування матеріалу проходило саме в тій зоні. В умовах тертя деталей автомобілів важливим фактором є дослідження продуктів зношування. Впровадження хромомарганцевих сталей є перспективним напрямком в автомобільному матеріалознавстві.

Для удосконалення та впровадження систем комп'ютерного зору з метою розпізнавання та ідентифікації продуктів зношування деталей автомобілів, необхідно проводити подальші наукові дослідження та розробки .

Список літературних джерел

1. Balyts'kyi O.I., Kolesnikov V.O., Kawiak P. Tribotechnical properties of austenitic manganese steels and cast - irons under sliding friction conditions //Materials Science.– Vol.4, № 5. - 2005. – p. 624 – 630.
2. Balitskii A., Ivaskevich L., Kostyuk I., Kochmanski P., Kolesnikov V., Ostaf V. //Hydrogen embrittlement of welded joints of Cr–Mn austenitic steels Водне окрихнення зварних з'єднань Cr–Mn аустенітних сталей // Проблеми корозії та протикорозійного захисту

- матеріалів Problems of corrosion and ckrksion protection of materials Physicochemical mechanics of materials.– Special issue. - N 5, vol.1, 2006. – P. 233-235.
3. Balitskii A., Chmiel J., Kawiak P., Ripey I., Kolesnikov W. Odporność na zużycie ścierne i niszczenie wodorowe austenitycznych stopów Fe-Mn-Cr // Problemy eksploatacji.-4 (67)/2007.-s.7-16.
 4. Balitskii A., Kolesnikov V., Chmiel J. The influence of microstructure and hydrogen – containing environments on the intensity of cast iron and steel damage by sliding friction. Part 1. Construction of a generalized model of surface layer friction of graphitized steel and cast-iron objects // Problemy eksploatacji.-4 (67)/2007.-s.17-29.
 5. Balyts'kyi O.I., Kolesnikov V.O. Investigation of wear products of high nitrogen manganese steels // Materials Science (Springer).– 2009, vol. 45, N 4.- P.576 - 581.
 6. Kolesnikov V.O. Investigation of the wear products of high-nitrogen steel after hydrogenation // Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa XA/2010. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture – OLPAN, 2010, 10A,271 -275 p.
 7. Балицький О.І., Душар І.Я., Колесніков В.О., Мельніков С.Д. Водневостійка сталь. Патент на корисну модель № України, МПК С22С 38/50. Заявка № u 2009 08857; Заявлено 25.08.2009. Опубліковано 10.02.2010. Бюл.№ 3, 2010 - 4 с.
 8. Study of the wear resistance of high-nitrogen steels under dry sliding friction // O. I. Balyts'kyi, V. O. Kolesnikov, and J. Eliaz // Materials Science, Vol. 48, No. 5, March, 2013 P. 642 – 646.
 9. Balitskii A.I., Kolesnikov V.O., Eliaz J., Hawriljuk M.R. Fracture of hydrogenated high nitrogen manganese steels at slide wear // Materials Science. - 2014. – N 4. – P. 110 – 116.
 10. Alexander Balitskii, Hawrilyuk M., Eliaz J., Balitska W, Kolesnikow W. Efektywnosc olejow roslinnych jako cieczy smarujaco-chlodzacych w obrobce skrawaniem stali wirnikowych // Obrobka skrawaniem – 9.- Obrobka skrawaniem podstawa rozwoju metrologii / Pod redakcja Edwarda Miko // IX Szkoła Obrobki Skrawaniem, Sandomierz Kielce, 2015. – S. 168-176.
 11. Balitskii A., Hawrilyuk M., Eliaz J., Balitska W., Kolesnikow W. Oddziaływanie wodoru na kształtowanie i odprowadzenie wiórów w obróbce skrawaniem stali wysokostopowych z użyciem ekologicznych cieczy smarująco-chłodzących // Obrobka skrawaniem – 10. – Obrobka skrawaniem podstawa rozwoju metrologii / Pod redakcja Jana Burka // X Szkoła Obrobki Skrawaniem, Rzeszow-Lancut, 2016. – S. 447-452.
 12. Еліаш Я. Балицький О., Гаврилюк М., Колесніков В., Балицька В. Екологічно чисті змащувально-охолоджуючі рідини на базі рослинних олій // Монографія “Проблеми хімотології та практика раціонального використання традиційних і альтернативних паливно-мастильних матеріалів” / За заг. ред. С.Бойченка – Центр учбової літератури. Київ, 2017. – С. 418-422.
 13. Знос деталей. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.prokatsk.ru/remont/iznos_detalej.html.
 14. Фактори, що впливають на знос деталей [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.nashyavto.ru/sistema-tehnicheskogo-obslyzhivaniya-factoryi-vliayuschie-na-iznos-detaley.html>.
 15. Лабораторный практикум по курсу «Основы трения и изнашивания элементов трибомеханических систем оборудования» // Б.П. Сафонов, А.Я. Лысюк, Л.В. Лукиенко Н. 2000. с. 25.
 16. Балицький О.І., Колесніков В.О. Дослідження продуктів зношування високоазотних марганцевих сталей // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2009, 45. – № 4. – С. 93 –99.
 17. Балицький О.І., Колесніков В.О., Еліаш Я. Дослідження зносотривкості високоазотних сталей за умов сухого тертя ковзання // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2012, 48. – № 5. – С. 78 – 82.
 18. Балицький О.І., Колесніков В.О., Еліаш Я., М.Р. Гаврилюк Особливості руйнування наводнених високо азотних марганцевих сталей в умовах тертя кочення // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2014, Том 50. – № 4. – С. 110 – 116.
 19. Лабораторный практикум по курсу «Оборудование и технология повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов». Ч.1. Методические

указания к лабораторным работам No 1,2,3,4. Новомосковск, НИРХТУ им. Д.И. Менделеева, 1997. – 117 с.

20. Balitskii A., Kolesnikov V., Kubicki J. // Ability to strengthening manganese doped iron- a reserve to increasing of exploitation stability of details for railway transport/Industrial and tourist transport.- 2004, Issue 3.- P.29-38.

21. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали М.: Металлургия, 1985. 408 с.

22. Коган Я.Д., Колачев Б.А., Левинский Ю.В., Назимов О.П., Фишгойт А.В. Константы взаимодействия металлов с газами. Справ. изд. - М.: Металлургия, 1987. - 368 с.

23. Филиппов М.А. Метастабильный марганцевый аустенит как структурная основа сталей с высокой стойкостью в условиях динамического контактного нагружения // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1995. – № 10. – С. 12 – 15.

24. Вольнова Т.Ф. Высокомарганцевые стали и сплавы . – М. : Металлургия, 1988. – 343 с.

25. Карлссон Л. Нержавеющая сталь – прошлое, настоящее и будущее № 1(4) – 2004 ISSN 1648 – 2611.

26. Гусякова Г.П., Корнев А.Б., Гусяков Д.С. Коэффициенты трения и износостойчивость металлических материалов с различной способностью к деформационному упрочнению// <http://nic-rt.ru/magazine1.html>.

27. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lsp.spb.ru/enpp/newspapers/promvest/arts/promvest-9-art-13.html>.

28. Колесников В.А. Концепция компьютерной обработки изображений частичек износа // Тези доповідей Міжнародна науково-практична конференція "Комп'ютерні науки для інформаційного суспільства", 22-23 грудня 2010 року, м. Луганськ. С. – 112 -114.

29. Колесников В.А., Балицкий А.И., Погорелов О.А. Классификация частиц износа сталей (по морфологии), образовавшихся в условиях трения качения // Наукові вісті Даліського університету // Електронний журнал СНУ ім. В.Даля, 2011. – № 4. Режим доступа: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011_4/11kvakpm.pdf.

30. Пат. 108524 Україна, МПК G01N3/56, G 01N15/10. Спосіб визначення форми поверхні частинок після сухого та водневого зношування системою комп'ютерного зору / Балицький О.О., Колесніков В.О., Гаврилюк М.Р., Погорелов О.О., Колеснікова Е.Б.; Власник Фізико-механічний інститут. - № у 2015 12575; заявл. 21.12.2015; опубл. 25.07.2016, Бюл. № 14. – 11 с.

31. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://himmotolog.ru>.

32. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://keystrokestudios.com/www.spec-troinc.comproducts/CD-ROM-2.html>.

33. Колесников В.А. Продукты износа в двигателях автомобилей // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції “Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД 19 квітня 2013 р. С. 361 -364.

Колесніков Валерій Олександрович – к.т.н., м.н.с. лабораторії водневої стійкості конструкційних сплавів відділу фізичних основ руйнування та міцності матеріалів в агресивних середовищах Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України; доцент кафедри технологій виробництва і професійної освіти ДЗ "Луганський національний університет ім. Тараса Шевченка", м. Старобільськ